Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 1, Mar.-Apr. 2024, p. 23-36

Analysis of the Physical Efficiency Indices of Water and Energy in Alfalfa and Barley Crops in Two Different Climates

S. Habibi[1], M. Khoshravesh[2*], R. Nouri Khajebelagh[3]

1, 2 and 3- M.Sc Student of Water Resources Engineering, Associate Professor and Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.khoshravesh@sanru.ac.ir)

Received: 26-11-2023 Revised: 04-01-2024 Accepted: 15-01-2024 Available Online: 15-01-2024	**How to cite this article:** Habibi, S., Khoshravesh, M., & Nouri Khajebelagh, R. (2024). Analysis of the physical efficiency indices of water and energy in alfalfa and barley crops in two different climates. *Journal of Water and Soil, 38*(1), 23-36. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.85576.1360

Introduction

In today's world, challenges related to agriculture, food security, water and energy resources, productivity, and greenhouse gas emissions have emerged as significant issues for global societies. Through their international impacts, these challenges have led to economic, social, and environmental changes on a global scale. One of the most crucial issues that should be highlighted is the shortage of water resources. Water, as a vital factor in agriculture and food production, holds special importance. Therefore, in order to achieve sustainable agriculture, it is necessary to pay attention to the energy indicators, the efficiency of water consumption in the production of agricultural products and the amount of greenhouse gas emissions. In general, a combination of energy indicators, water efficiency and reduction of greenhouse gas emissions in agriculture can help to develop sustainable agriculture and preserve the environment and help to provide safe and accessible food for the society. The aim of the present study was to investigate the indicators of physical water, energy efficiency, and greenhouse gas emissions on alfalfa and barley crops in two different climates: a warm and arid climate (Shahr-e-Qom Plain, Qom) and a temperate and humid climate (Sari Plain, Mazandaran). This was done to assess the impact of climate on the outcomes of these indicators.

Materials and Methods

To investigate the physical water efficiency and evaluate energy indicators in this study, major agricultural products in Sari and Sharifabad Plains, including barley and alfalfa, were analyzed using cross-sectional data from the agricultural year 2021-2022. Initially, the sample size was determined based on the Cochran formula and the Bartlett method (2001). Subsequently, sampling was carried out using a questionnaire designed by the researchers themselves. The questionnaires totaled 250 (Sari Plain: 150, Sharifabad Plain: 100), and the collected information included the amount of input consumption and production quantity. The questionnaire, designed by the researcher, was validated for validity and reliability by experts and specialists. The inputs used in the study of water efficiency and energy indicators for the mentioned products in Sari and Sharifabad Plains included person-days of human labor, machine working hours, fuel consumption of machines, the quantity of nitrogen, phosphorus, potassium fertilizers per hectare, the quantity of various chemical pesticides (herbicides, fungicides, and insecticides) per liter per hectare, the amount of water consumption in cubic meters per hectare, and the amount of seed consumption in kilograms per hectare.

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.85576.1360

Results and Discussion

The results of the descriptive statistics of input consumption in Sari and Sharifabad Plains in barley and alfalfa crops showed that the highest input consumption of manpower in the cultivation of alfalfa crops in Sharifabad Plains with an average of 225 hours per hectare, the highest amount of fertilizer consumption related to the alfalfa crop in Sharifabad Plain is related to nitrogen fertilizer with an average of 130 kg per hectare, the highest amount of fuel consumption of machinery related to alfalfa crop in Sari Plain with an average of 405 liters per hectare, the highest amount of water consumption related to alfalfa crop in Sharifabad Plains with an average of 17500 cubic meters per hectare and the highest yield of alfalfa was obtained in Sharifabad Plains with an average of 11550 kg per hectare. The obtained results indicated that the highest input energy level in Sharifabad Plain for alfalfa was 5,674.50 MJ per hectare. The results of energy efficiency indicated that alfalfa production in Shahrifabad Plain had the highest value with 0.19 kilograms per MJ, while this index for alfalfa in Sari Plain was 0.13 kilograms per MJ. Additionally, the energy efficiency for barley in Shahrifabad Plain was 0.13 kilograms per MJ, and for Sari Plain, it was 0.12 kilograms per MJ, showing a somewhat similar level. The physical water use efficiency results revealed that the highest and lowest efficiency levels were observed for barley in Sari Plain, amounting to 0.96 kilograms per cubic meter, and for alfalfa in Shahrifabad Plain, amounting to 0.57 kilograms per cubic meter, respectively. Furthermore, this index for alfalfa in Sari Plain was 0.67 kilograms per cubic meter, and for barley in Shahrifabad Plain, was 0.8 kilograms per cubic meter. The results for greenhouse gas emissions demonstrated that the level of emissions in Sari Plain was higher than Sharifabad Plain, attributed to excessive fertilizer and pesticide use in Sari Plain. The highest greenhouse gas emissions in Sari Plain for alfalfa were 2681.65 kilograms of CO_2 per hectare, while in Sharifabad Plain, was 2351.85 kilograms of CO_2 per hectare.

Conclusion

The overall results indicated that crop performance in humid regions was not higher than in dry and semi-arid regions, and this index depends on various parameters, including water consumption and managerial considerations. However, water consumption in temperate and humid regions is significantly lower than in dry and semi-arid areas due to higher precipitation. This result is increased efficiency in temperate and humid regions.

Keywords: Alfalfa, Barley, Energy productivity, Sari, Sharifabad

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۸، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۳، ص.۳۶-۲۳

تحلیل شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی محصولات یونجه و جو در دو اقلیم متفاوت

سعید حبیبی[۱]- مجتبی خوش‌روش[۲]*- رسول نوری خواجه‌بلاغ[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

چکیده

در دنیای امروز، مشکلات مرتبط با کشاورزی، امنیت غذایی، منابع آب و انرژی، بهره‌وری و انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان چالش‌های مهمی برای جوامع جهانی ظاهر شده‌اند. هدف مطالعه حاضر بررسی شاخص‌های بهره‌وری، انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی محصولات عمده زراعی در دو اقلیم متفاوت در دشت ساری و دشت شریف‌آباد بود. برای بررسی این شاخص‌ها در محصول یونجه و جو از داده‌های مقطعی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ استفاده شد. ابتدا حجم نمونه براساس رابطه کوکران مشخص شد. سپس نمونه‌گیری براساس پرسشنامه طرح شده توسط خود محققان انجام گردید. تعداد ۲۵۰ پرسشنامه تهیه شد که اطلاعات جمع‌آوری شده شامل مقدار مصرف نهاده‌ها و مقدار تولید بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بالاترین میزان انرژی ورودی در دشت شریف‌آباد برای محصول یونجه برابر با ۶۷۴۵۰/۵ مگاژول در هکتار به‌دست آمد. نتایج بهره‌وری انرژی نشان داد که محصول یونجه در دشت شریف‌آباد با ۰/۱۹ کیلوگرم بر مگاژول بیشترین میزان را به خود اختصاص داده که میزان این شاخص برای محصول یونجه در دشت ساری برابر با ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول بود. همچنین میزان بهره‌وری انرژی برای محصول جو در دشت شریف‌آباد برابر با ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول و برای دشت ساری برابر با ۰/۱۲ کیلوگرم بر مگاژول بود که تا حدودی برابر هم بودند. نتایج بهره‌وری فیزیکی آب نشان داد که بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری به‌ترتیب برای محصول جو در دشت ساری برابر با ۰/۹۶ کیلوگرم بر متر مکعب و محصول یونجه در دشت شریف‌آباد برابر با ۰/۵۷ کیلوگرم بر متر مکعب بود. همچنین میزان این شاخص برای محصول یونجه در دشت ساری برابر با ۰/۶۷ کیلوگرم بر متر مکعب و برای محصول جو در دشت شریف‌آباد برابر با ۰/۸ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد. نتایج حاصل برای انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان داد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دشت ساری بیشتر از دشت شریف‌آباد بوده که علت این امر استفاده بیش‌ازحد کود و سموم در دشت ساری می‌باشد، به‌طوری‌که بالاترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دشت ساری برای محصول یونجه برابر با ۲۶۸۱/۶۵ و در دشت شریف‌آباد برابر با ۲۳۵۱/۸۵ کیلوگرم CO_2 در هکتار به‌دست آمد. نتایج کلی نشان داد که عملکرد محصول در مناطق مرطوب بیشتر از مناطق خشک و نیمه‌خشک نبوده و این شاخص به پارامترهای مختلفی از جمله مصرف آب و بحث‌های مدیریتی بستگی دارد. اما مصرف آب در مناطق معتدل و مرطوب به دلیل برخورداری بیشتر از بارش، به‌مراتب کمتر از مناطق خشک و نیمه‌خشک است که این امر باعث افزایش بهره‌وری در مناطق معتدل و مرطوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری انرژی، جو، ساری، شریف‌آباد، یونجه

مقدمه

در دنیای امروز، مشکلات مرتبط با کشاورزی، امنیت غذایی، منابع آب و انرژی، بهره‌وری و انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان چالش‌های مهمی برای جوامع جهانی ظاهر شده‌اند. این چالش‌ها از طریق تأثیرات بین‌المللی خود، باعث تغییرات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در سطح جهانی شده‌اند. یکی از مهم‌ترین مواردی که به آن باید اشاره کرد، کمبود منابع آب است. آب به‌عنوان یکی از عوامل حیاتی در کشاورزی و تولید غذا دارای اهمیت ویژه‌ای است. با افزایش جمعیت جهانی و تغییر الگوهای مصرف آب، منابع آب تا حدود زیادی تهدید

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشیار و دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: m.khoshravesh@yahoo.com)

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.85576.1360

شده‌اند. این کمبود آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تأثیرات عمیقی را بر روی تولید محصولات کشاورزی و در نتیجه امنیت غذایی جامعه دارد (Platis *et al.*, 2019). همچنین، مسئله امنیت غذایی به دلیل رشد جمعیت جهانی و تغییر الگوهای تغذیه، به چالش کشیده شده است. نیاز به تولید مقدار بیشتری از محصولات کشاورزی به‌منظور تأمین نیازهای غذایی جامعه، با محدودیت‌های منابع آب و خاک موجب استفاده نامتعادل از این منابع شده و می‌تواند به کاهش بهره‌وری و حتی خرابی‌های زیست‌محیطی منجر شود. در این مسیر، کشاورزی پایدار و بهره‌وری بالا از منابع موجود، امری ضروری است (De Pinto *et al.*, 2020). از طریق بهره‌برداری هوشمندانه از آب، کودها، نهاده‌های کشاورزی و تکنولوژی‌های نوین، می‌توان به افزایش تولید محصولات با حفظ محیط‌زیست پرداخت. همچنین، مسئله تغییرات اقلیمی و انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز اهمیت بسیاری دارد. افزایش دما و تغییر الگوهای هواشناسی تأثیرات چشمگیری بر روی کشاورزی و تولید محصولات دارد. تلاش‌ها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترویج منابع انرژی تجدیدپذیر از جمله راهکارهایی هستند که به میزان کاهش این گازها کمک می‌کنند. از طریق اجرای سیاست‌ها و برنامه‌های کارآمد، می‌توان به بهبود وضعیت کشاورزی، امنیت غذایی، بهره‌وری منابع و کاهش اثرات منفی انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کرد (Baccour *et al.*, 2021).

بهره‌وری آب و مشکلات کشورهای دنیا در کمبود منابع آب و کشاورزی یک موضوع مهم و پیچیده است. کمبود منابع آب و مشکلات مرتبط با کشاورزی در سراسر جهان به علت عوامل مختلفی از جمله تغییرات آب و هوا، رشد جمعیت، آبیاری ناپایدار، آلودگی آب، اشتباهات مدیریتی و ... ایجاد شده‌اند (Kahramanoğlu *et al.*, 2020).

نوری خواجه بلاغ و همکاران (Nouri-Khajehbelagh *et al.*, 2020) بهره‌وری فیزیکی در دشت اردبیل روی محصولات زراعی را ارزیابی کردند و گزارش کردند که محصول گندم و جو با ۱/۱۹ و ۱/۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب بالاترین میزان بهره وری و محصول یونجه و کلزا با میزان ۰/۷۵ و ۰/۶۷ رتبه‌های بعد را به خود اختصاص دادند.

در مطالعه‌ای که با هدف بررسی عملکرد و بهره‌وری محصول جو در کشور اتیوپی انجام شد دریافتند که بهره‌وری آب در این محصول بین ۲/۰۱ تا ۲/۹۵ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد (Ararssa *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای دیگر که روی محصول کلزا برای ارزیابی بهره‌وری آب در ایالت نیومکزیکو صورت گرفت، نتایج حاصله نشان داد میزان بهره‌وری برای این محصول بین ۰/۳۴ تا ۸/۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد (Jäger *et al.*, 2022). همچنین در مطالعه‌ای که برای ارزیابی بهره‌وری آب و عملکرد گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری و خاک‌ورزی در کشور بنگلادش روی محصول گندم انجام دادند دریافتند که میزان بهره‌وری این محصول بین ۱/۴۷ تا ۲/۹۳ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد (Hassan *et al.*, 2017).

بررسی شاخص‌های انرژی در کشاورزی به‌منظور تحلیل و ارزیابی مصرف و بهره‌برداری از منابع انرژی در فعالیت‌های کشاورزی انجام می‌شود. این شاخص‌ها به ما اطلاعاتی ارائه می‌دهند که در درک بهتر و بهره‌برداری بهینه از عملیات کشاورزی و مدیریت منابع انرژی کمک می‌کند (Zhu *et al.*, 2023).

منافی دستجردی و کوهنورد (Manafi Dastjerdi & Koohnavard, 2020) در مطالعه‌ای که برای به‌دست آوردن انرژی تولید یونجه در شهرستان‌های استان البرز انجام دادند دریافتند که حدود ۶۵ درصد انرژی ورودی برای کشت یونجه در شهرستان‌های کرج، اشتهارد، نظرآباد و ساوجبلاغ به دو نهاده سوخت و بذر تعلق دارد. همچنین آن‌ها دریافتند که شهرستان اشتهارد با ۰/۰۹۵ کیلوگرم بر مگاژول و شهرستان نظرآباد با ۰/۰۷۶ کیلوگرم بر مگاژول دارای بیشترین و کمترین بهره‌وری انرژی در تولید یونجه را داشتند. در بین چهار منطقه مورد مطالعه نیز دریافتند شهرستان اشتهارد با خالص انرژی ۳۹۲۴۱/۹ مگاژول بر هکتار و انرژی ویژه ۱۰/۵۷ مگاژول در کیلوگرم از شرایط بهتری نسبت به سه شهرستان دیگر برخوردار است. درگاهی و همکاران (Dargahi *et al.*, 2016) در مطالعه‌ای که در استان گلستان بر روی محصول کلزا برای به‌دست آوردن انرژی‌های تولید انجام دادند، میزان کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی مخصوص و انرژی خالص را در مزارع آبی به‌ترتیب ۲/۸، ۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول، ۸/۸ مگاژول بر کیلوگرم و ۳۷۴۳۶/۹ مگاژول بر هکتار به‌دست آوردند. قادرزاده و پیرمحمدیانی (Ghaderzadeh & Pirmohamadyani, 2019) در مطالعه‌ای که برای بررسی کارآیی انرژی محصول سیب‌زمینی در استان همدان انجام دادند مجموع انرژی‌های ورودی در تولید این محصول را ۶۹۲۴۹/۰۲ مگاژول بر هکتار به‌دست آوردند که نتایج آن‌ها نشان داد کود شیمیایی با ۳۸/۸ درصد دارای بیشترین میزان تأثیرگذاری بوده است. همچنین آن‌ها در ادامه مطالعه خود نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و خالص انرژی را برای محصول سیب‌زمینی به‌ترتیب برابر با ۲/۲۲، ۰/۶۷۱ کیلوگرم بر مگاژول و ۸۴۷۵۱/۹ مگاژول بر هکتار به‌دست آوردند. در مطالعه‌ای که با هدف با تجزیه و تحلیل شاخص‌های انرژی در الگوهای کاشت مدیرانه‌ای انجام شد دریافتند که انرژی ورودی در الگوهای کم نهاده به‌طور معنی‌داری تا حدود ۳۰ درصد کاهش یافته است. طبق این نتایج مهم‌ترین عوامل ورودی در تولید کلزا به‌ترتیب کودهای شیمیایی (۶۴/۶۶ درصد)، سوخت دیزل (۲۴/۴۵ درصد) و سموم و آفت‌کش‌ها (۴/۱۴ درصد) بودند (Nassi *et al.*, 2011).

در مطالعه‌ای که حیدری و همکاران (Heydari *et al.*, 2023) با هدف بررسی رابطه بین انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از تولید ۱۸ گیاه زراعی اصلی در قالب پنج دسته غالب شامل؛ غلات ،گندم، جو،

برنج و ذرت بقولات یونجه، لوبیا نخود و عدس دانه‌های روغنی، سویا، آفتابگردان، کلزا، گلرنگ، کرچک، کنجد و بادام‌زمینی)، غده‌ای (سیب‌زمینی و چغندرقند) و الیافی (پنبه) در اقلیم‌های مختلف ایران مرطوب ساحلی، کوهستانی، نیمه کوهستانی، نیمه بیابانی، بیابانی و بیابان ساحلی طی سال‌های ۲۰۲۰–۱۹۸۰ انجام دادند دریافتند که متغیر اقلیمی بارش ارتباط معنی‌داری با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در اقلیم‌های مختلف ایران ندارد درصورتی‌که مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل در طی سال‌های مورد بررسی در مطالعه آن‌ها روند معنی‌داری را نشان داد. همچنین آن‌ها دریافتند بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۱۹ معادل ۴۴۳ میلیون تن گزارش بوده که بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ترتیب مربوط به انرژی برق (۴۷/۱ ٪) و کود نیتروژن (۲۵/۷۵ ٪) بوده است.

آقخانی و همکاران (Aghkhani *et al*., 2018) با مطالعه‌ای که روی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید مرکبات انجام دادند، دریافتند که دو نهاده کود حیوانی و سوخت با ۴۸/۵ و ۱۶/۹ درصد، پرمصرف‌ترین نهاده در بخش انرژی ورودی بودند، همچنین آن‌ها دریافتند که این دو نهاده به‌ترتیب با ۴۳/۳ و ۱۸/۵ بیش‌ترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند.

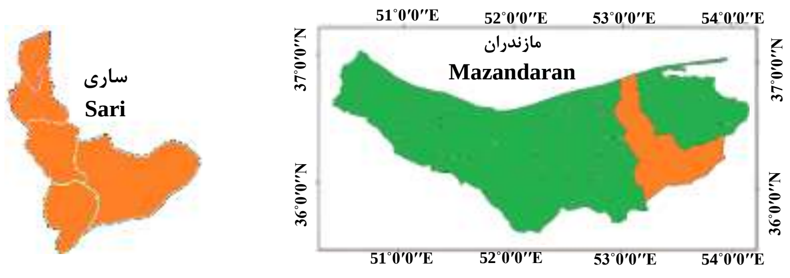
با توجه به مطالب ذکر شده پایین بودن بهره‌وری آب و انرژی در کشور و افزایش روزافزون انتشار گازهای گلخانه‌ای، یکی از مشکلات اساسی در کشاورزی، توسعه پایدار و امنیت غذایی به شمار می‌رود. به حساب بنابراین به‌منظور دستیابی به کشاورزی پایدار توجه به شاخص های انرژی، بهره‌وری مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ضروری است. به‌طور کلی، ترکیبی از شاخص‌های انرژی، بهره‌وری آب و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی می‌تواند به توسعه کشاورزی پایدار، افزایش بهره‌وری، کاهش مصرف آب، ایجاد امنیت غذایی و حفظ محیط‌زیست کمک کند. هدف مطالعه حاضر، بررسی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای روی محصول یونجه و جو در دو اقلیم گرم و خشک (دشت شریف‌آباد قم) و معتدل و مرطوب (دشت ساری مازندران) بود تا بتوان با بررسی پتانسیل مناسب هر اقلیم، پیشنهاد کشت در هر منطقه را نسبت به ظرفیت‌های آن منطقه معرفی کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت ساری

برای بررسی تأثیر اقلیم بر شاخص‌های ذکر شده، دشت سای به عنوان یک دشت مرطوب و معتدل برگزیده شد. این دشت در مرکز استان مازندران واقع شده و اقلیم معتدل و مرطوبی دارد. از نظر پوشش گیاهی، در رده متراکم قرار دارد، که در شکل ۱ قابل مشاهده است. اراضی این منطقه اکثرا به کشاورزی آبی و دیمی اختصاص دارند. دشت ساری بین دو رودخانه مهم تجن و نکارود واقع شده و مساحت آن ۱۵۳۲۷۷ هکتار است. این دشت به‌دلیل شرایط آب و هوایی مناسب و خاک حاصلخیز، یکی از نقاط حیاتی کشاورزی در شمال ایران به شمار می‌آید. خاک دشت ساری از نوع لومی است که حاوی مقدار غنی از مواد آلی و عناصر معدنی می‌باشد. این خصوصیات باعث می‌شود که برای کاشت انواع محصولات زراعی و باغی مختلف، به‌ویژه با توجه به تغذیه مناسب گیاهان، بسیار مناسب باشد (Nouri-Khajehbelagh *et al*., 2023).



شکل ۱- موقعیت دشت ساری در استان مازندران
Figure 1- Location of Sari Plain in Mazandaran Province

دشت شریف‌آباد

این دشت از سمت‌های شمال و شرق به دشت مسیله، از سوی جنوب به دشت قم، و از جهت غرب به دشت ساوه محدود می‌شود (شکل ۲). میانگین مقدار بارش در دشت حدود ۱۲۵ میلی‌متر و دمای متوسط برابر ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. سطح کل محصولات زراعی و باغی آبی در دشت شریف‌آباد حدود ۹۸۰۰ هکتار است که محصولاتی نظیر جو، یونجه و پسته بیشترین سطح را به خود اختصاص می‌دهند. این دشت تحت تأثیر اقلیم نیمه‌خشک قرار دارد. تابستان‌های دشت شریف‌آباد گرم و خشک بوده و زمستان‌ها معتدل هستند. با وجود این اقلیم خشک، کشاورزی در این منطقه با چالش‌هایی مانند کمبود آب، دوره‌های خشکسالی، و مدیریت آب مواجه است.

اطلاعات مورد استفاده

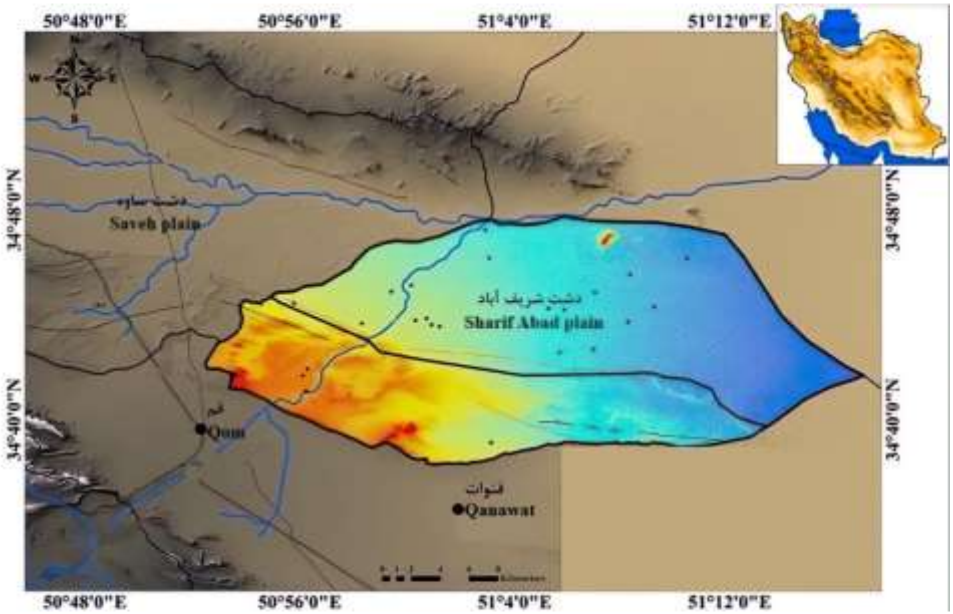
برای بررسی بهره‌وری فیزیکی آب و ارزیابی شاخص‌های انرژی، از داده‌های سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ برای محصولات اصلی زراعی (جو و یونجه) در دشت ساری و شریف‌آباد، استفاده شد. ابتدا، حجم نمونه با استفاده از روش کوکران و روش تعیین حجم بارتلت و همکاران (Bartlett *et al.*, 2001) تعیین شد. سپس، نمونه‌گیری بر اساس پرسشنامه‌ای که توسط محققان طراحی شده بود انجام شد. تعداد ۲۵۰ پرسشنامه (۱۵۰ مورد برای دشت ساری و ۱۰۰ مورد برای دشت شریف‌آباد) طراحی شد و اطلاعات جمع‌آوری شده شامل مصرف نهاده‌ها و میزان تولید بود. این پرسشنامه از نظر روایی و پایایی توسط کارشناسان و خبرگان تأیید شد. پرسشنامه حاضر که توسط محقق طراحی شده بود، از لحاظ روایی با روش روایی محتوی، توسط خبرگان (۵ نفر) مورد بررسی قرار گرفت (روایی ۰/۹۹ درصد) که مورد تأیید خبرگان قرار گرفت. همچنین پایایی مطالعه با آلفای کرونباخ (۰/۹۵) ارزیابی شد. جهت اطمینان از صحت داده‌ها، از نظرات کارشناسان آب‌منطقه‌ای، آمارنامه‌های جهاد کشاورزی، کارشناسان جهاد کشاورزی و مقایسه با منابع معتبر صورت گرفته است. همچنین برخی از اراضی نیز به‌صورت تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفتند که صحت جواب‌های کشاورزان مورد تأیید قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای EXCEL و SPSS استفاده شد.

بهره‌وری فیزیکی آب

عملکرد به‌ازای واحد حجم آب (CPD[1])

CPD یکی از شاخص‌های مطرح در مورد سنجش میزان بهره‌وری آب کشاورزی است (Nouri-khajebelagh *et al.*, 2020).

$$\text{CPD}=\frac{\text{مقدار محصول تولید شده}}{\text{مقدار آب مصرف شده}} \quad (1)$$



شکل ۲- موقعیت دشت شریف‌آباد در استان قم

Figure 2- Location of Sharifabad Plain in Qom Province

1- Crop Per Drop

سود خالص به‌ازای واحد مصرف آب (NBPD[1])

NBPD یا سود خالص در حجم مصرف آب است. در این شاخص میزان سود خالص نسبت به مقدار آب مصرف شده در نظر گرفته می‌شود.

$$NBPD = \frac{\text{سود خالص}}{\text{مقدار آب مصرف شده}} \quad (۲)$$

شاخص‌های انرژی

به‌منظور محاسبه و تهیه شاخص‌های انرژی محصولات گندم و کلزا در دشت ساری و شریف‌آباد، مقادیر انرژی نهاده‌های مصرفی به همراه عملکرد محصول با توجه به معادل انرژی مربوط به هرکدام (که در جدول ۱ ذکر شده است) محاسبه شد. تمام داده‌های ورودی و خروجی مربوط به تولید محصولات اصلی زراعی به‌منظور ایجاد قابلیت مقایسه بین شاخص‌های انرژی، به‌صورت میانگین بیان شده‌اند.

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی در تولید محصولات زراعی

Table 1- Equivalent Input and Output Energy in Agricultural Production

الف) ورودی A) Input	واحد Unit	انرژی معادل Energy equivalents (MJ.unit^{-1})	منبع Source
نیروی انسانی Human labour	hr	1.96	De *et al.* (2001)
ماشین‌آلات Machinery	hr	62.7	Mandal *et al.* (2002)
گازوئیل Diesel	L	47.8	Kitani (1999)
نیتروژن Nitrogen	kg	66.14	Hatirli *et al.* (2006)
فسفر (P_2O_5) Phosphorus (P_2O_5)	kg	12.44	Hatirli *et al.* (2006)
پتاسیم (K_2O) Potassium (K_2O)	kg	11.15	Hatirli *et al.* (2006)
علف‌کش‌ها Herbicides	L	85	Kitani (1999)
حشره‌کش‌ها Insecticides	L	229	Kitani (1999)
قارچ‌کش‌ها Fungicides	L	216	Mohammadzadeh *et al.* (2017)
آب آبیاری Irrigation water	m^3	1.02	Acaroglu (1998)
بذر جو Barley seed	kg	14.7	Singh *et al.* (1992)
بذر یونجه Alfalfa seed	kg	28.1	Singh *et al.* (1992)
ب) خروجی Output	-	-	-
دانه جو Barley grain	kg	14.7	Singh *et al.* (1992)
یونجه Alfalfa	kg	15.8	Singh *et al.* (1992)
کاه جو Straw of barley	kg	12.5	Mansoori *et al.* (2012)

1- Net Benfit Per Drop

شاخص‌های انرژی طبق معادله‌های ۳ تا ۶ محاسبه شد (Pimentel, 1980; Herrhz *et al*., 1995; Hatirli *et al*., 2006)

$$\text{کارایی مصرف انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}} \quad (۳)$$

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}} \quad (۴)$$

$$\text{انرژی خالص} = \text{انرژی خروجی} - \text{انرژی ورودی} \quad (۵)$$

$$\text{انرژی مخصوص} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}} \quad (۶)$$

انتشار گازهای گلخانه‌ای

مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های شیمیایی با توجه به ضرایب انتشار گازها در جدول ۲ محاسبه می‌شوند. توان گرمایش جهانی در یک هکتار، با توجه به میزان انتشار هر یک از گازهای گلخانه‌ای و ضریب اثر آن‌ها برای یک دوره ۱۰۰ ساله، با فرض مقادیر CO_2 برابر با ۱، N_2O برابر ۳۰ و CH_4 برابر ۲۱ محاسبه شد (IPCC, 1995). در پایان، توان گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای محصولات جو و یونجه در دشت ساری و شریف‌آباد برای یک هکتار براساس معادل CO_2 محاسبه شد.

نتایج و بحث

براساس جدول ۳، نتایج آمار توصیفی مقدار مصرف نهاده‌ها در دشت ساری و شریف‌آباد در محصول جو و یونجه نشان داد که بیشترین نهاده مصرفی نیروی انسانی در کشت محصول یونجه در دشت شریف‌آباد با میانگین ۲۲۵ ساعت در هکتار، بیشترین میزان مصرف کود مربوط به محصول یونجه در دشت شریف‌آباد مربوط به کود نیتروژن با میانگین ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین میزان مصرف سوخت ماشین‌آلات مربوط به محصول یونجه در دشت ساری با میانگین ۴۰۵ لیتر در هکتار، بیشترین میزان مصرف آب مربوط به محصول یونجه در دشت شریف‌آباد با میانگین ۱۷۵۰۰ متر مکعب در هکتار و بیشترین میزان عملکرد مربوط به محصول یونجه در دشت شریف‌آباد با میانگین ۱۱۵۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد.

شاخص‌های انرژی

طبق جدول ۴، برای مجموع شاخص‌های انرژی ورودی، نهاده‌های کود نیتروژن و فسفات، سوخت ماشین‌آلات، آب مصرفی و بذر دارای بیشترین میزان انرژی ورودی بودند. بیشترین انرژی ورودی مربوط به نیتروژن در محصول یونجه و جو در دشت شریف‌آباد برابر با ۸۲۶۷/۵ مگاژول در هکتار به‌دست آمد. نتایج مطالعه حاضر با مطالعه قادرزاده و پیرمحمدیانی (Ghaderzadeh & Pirmohamadyani, 2019) که برای بررسی کارآیی انرژی محصول سیب‌زمینی در استان همدان انجام دادند و دریافتند که کود شیمیایی با ۳۸/۸ دارای بیشترین میزان تأثیرگذاری بود هم‌خوانی داشت. با توجه به اینکه دشت شریف‌آباد به مراتب اقلیم گرم و خشک‌تری نسبت به‌دست ساری دارد در نتیجه برای افزایش عملکرد در این دشت از کود بیشتری بهره گرفته می‌شود. همچنین طبق نتایج به دست آمده، سوخت مصرفی در محصول یونجه مربوط به دشت ساری برابر با ۱۹۳۵۹ مگاژول در هکتار به‌دست آمد. نتایج مطالعه حاضر در خصوص بالا بودن انرژی سوخت با مطالعه منافی دستجردی و کوهنورد (Manafi Dastjerdi & Koohnavard, 2020) که برای به‌دست آوردن انرژی تولید یونجه در شهرستان‌های استان البرز انجام دادند و دریافتند حدود ۶۵ درصد انرژی ورودی برای کشت یونجه در شهرستان‌های کرج، اشتهارد، نظرآباد و ساوجبلاغ به دو نهاده سوخت و بذر تعلق دارد هم‌خوانی داشت.

جدول ۲- انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای مصرف هر واحد نهاده ورودی

Table 2- Gaseous emissions (g) per unit of input

ورودی Input	CH_4	N_2O	CO_2	منبع Reference
گازوئیل Diesel (L)	5.2	0.7	3560	Kramer *et al*. (1999)
نیتروژن Nitrogen (kg)	3.7	0.03	3100	Snyder *et al*. (2009)
فسفر (P_2O_5) Phosphorus (kg)	1.8	0.02	1000	Snyder *et al*. (2009)
پتاسیم (K_2O) Potassium (kg)	1	0.01	700	Snyder *et al*. (2009)
علف‌کش Herbicide (kg)	_	_	6300	Lal (2004)
حشره‌کش Insecticide (kg)	_	_	5100	Lal (2004)

در ادامه نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین انرژی در نهاده آب مصرفی مربوط به دشت شریف‌آباد در محصول یونجه با میزان ۱۹۳۸۰ مگاژول در هکتار بوده است. در نهایت نتایج به‌دست آمده برای بیشترین میزان انرژی در خصوص عملکرد نشان داد که محصول یونجه در دشت شریف‌آباد دارای بیشترین میزان انرژی برابر با ۲۰۱۴۵۰ مگاژول در هکتار می‌باشد. بهشتی تبار و همکاران (Beheshti Tabar *et al.*, 2010) گزارش کردند که سهم آفت‌کش‌ها از کل انرژی‌های ورودی در تولید محصولات زراعی کمتر از سایر ورودی‌ها است.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که در دو دشت ساری و شریف‌آباد، بیشترین انرژی ورودی مربوط به دشت شریف‌آباد و محصول یونجه (۶۷۴۵۰/۵ مگاژول در هکتار) بوده، در خصوص انرژی خروجی محصول یونجه در دشت شریف‌آباد برابر با ۲۰۱۴۵۰ مگاژول در هکتار، بیشترین انرژی خالص مربوط به محصول یونجه در دشت شریف‌آباد برابر با ۱۳۳۹۹۹/۵ مگاژول در هکتار، بیشترین کارایی مصرف انرژی مربوط به محصول یونجه برابر با ۲/۹۹ در دشت شریف‌آباد و از لحاظ انرژی مخصوص، محصول جو در دشت ساری بیشترین میزان را با ۸/۴۴ مگاژول بر کیلوگرم به خود اختصاص داد.

جدول ۳- میانگین مصرف نهاده‌ها در هر هکتار زراعت یونجه و جو دشت ساری و شریف آباد

Table 3- Average Input Consumption per Hectare for Alfalfa and Barley Cultivation in Sari and Sharifabad Plains

دشت Plain	ساری Sari		شریف‌آباد Sharifabad	
ورودی Input	جو Barley	یونجه Alfalfa	جو Barley	یونجه Alfalfa
نیروی انسانی Human labour (hr)	55	50	80	225
ماشین‌آلات Machinery (hr)	5.5	15.5	6.5	17.5
گازوئیل Diesel (L)	165	405	145	275
نیتروژن Nitrogen (kg)	97.5	47.5	125	125
فسفر (P_2O_5) Phosphorus(P_2O_5) (kg)	47.5	55	62.5	75
پتاسیم (K_2O) Potassium (K_2O) (kg)	47.5	50	12.5	55
علف‌کش‌ها Herbicides (L)	0.75	0.75	0.36	0.35
حشره‌کش‌ها Insecticides (L)	0.5	0.5	1	2
قارچ‌کش‌ها Fungicides (L)	0.35	1	0	0
آب آبیاری Irrigation water(m^3)	3625	13500	5175	17500
عملکرد دانه Grain yield (kg)	3475	-	4150	-
عملکرد کاه straw yield (kg)	3750	7750	4250	11550
بذر Seed (kg)	281.5	81	277.5	85

جدول ٤- انرژی ورودی و خروجی در تولید محصولات مورد مطالعه در دشت ساری و شریف‌آباد

Table 4- Input and Output Energy in the Production of Studied Crops in Sari and Sharifabad Plains

دشت Plain		ساری Sari		شریف‌آباد Sharifabad	
انرژی Energy	واحد Unit	جو Barley (MJ ha^{-1})	یونجه Alfalfa (MJ ha^{-1})	جو Barley (MJ ha^{-1})	یونجه Alfalfa (MJ ha^{-1})
ورودی					
نیروی انسانی Human labour	hr	107.8	98	156.8	441
ماشین‌آلات Machinery	kg	6448.65	3141.65	8267.5	8267.5
گازوئیل Diesel	kg	590.9	684.2	777.5	777.5
نیتروژن Nitrogen	kg	529.63	501.75	139.38	557.5
فسفر (P_2O_5) Phosphorus(P_2O_5)	hr	344.85	971.85	407.55	1097.25
پتاسیم (K_2O) Potassium (K_2O)	L	7887	19359	6931	13145
علف‌کش‌ها Herbicides	L	63.75	63.75	30.6	29.75
حشره‌کش‌ها Insecticides	L	114.5	114.5	229	572.5
قارچ‌کش‌ها Fungicides	L	75.6	216	0	0
آب آبیاری Irrigation water	m^3	3697.5	13770	5278.5	19380
بذر Seed	kg	4138.05	2276.1	4079.25	2318.25
خروجی					
دانه جو Barley grain	kg	51082.5	-	61005	-
کاه جو Straw of barley	kg	46875	-	53125	-
یونجه Alfalfa	kg	-	122450	-	201450

واحدی و ظریف نشاط (Vahedi & Zarifneshat, 2021) در استان‌های البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان رضوی، خوزستان، گلستان و همدان بر روی گندم آبی نشان دادند که میزان میانگین انرژی ورودی، انرژی خروجی، کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و خالص انرژی را در استان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب برابر با ۵۸۳۰/۸۳ مگاژول بر هکتار، ۱۳۶۰۹۲/۱۵ مگاژول بر هکتار، ۲/۸۷، ۰/۲۱۲ کیلوگرم بر مگاژول و ۷۷۷۸۳/۳۱ مگاژول بر هکتار به‌دست آوردند که با نتایج مطالعه حاضر در برخی پارامترها مثل بهره‌وری انرژی و کارائی مصرف انرژی اختلاف جزئی دارند که این امر می‌تواند متأثر از شرایط اقلیمی متفاوت، خاک متفاوت، نحوه آبیاری و سایر متغیرها باشد.

درگاهی و همکاران (Dargahi *et al*., 2016) در یک تحقیق بر روی محصول کلزا در استان گلستان برای به‌دست آوردن انرژی‌های تولید، نتایجی به‌دست آوردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد؛ میزان کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی مخصوص و انرژی خالص به‌ترتیب ۲/۸، ۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول، ۸/۸ مگاژول بر کیلوگرم و ۳۷۴۳۶/۹ مگاژول بر هکتار بود.

جدول ۵- شاخص‌های انرژی در تولید محصولات مورد مطالعه در دشت ساری و شریف‌آباد

Table 5- Energy Indices in the Production of Studied Crops in Sari and Sharifabad Plains

دشت Plain		ساری Sari		شریف‌آباد Sharifabad	
انرژی Energy	واحد Unit	جو Barley	یونجه Alfalfa	جو Barley	یونجه Alfalfa
انرژی ورودی Input energy	$MJ.ha^{-1}$	61240.68	61681.7	63007.35	67450.5
انرژی خروجی Output energy	$MJ.ha^{-1}$	97957.5	122450	114130	201450
انرژی خالص Net energy	$MJ.ha^{-1}$	36716.83	60768.3	51122.65	133999.5
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	–	1.6	1.99	1.81	2.99
بهره‌وری انرژی Energy productivity	$Kg.MJ^{-1}$	0.12	0.13	0.13	0.19
انرژی مخصوص Specific energy	$MJ.kg^{-1}$	8.48	7.88	7.5	5.26

بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب

نتایج بهره‌وری فیزیکی آب نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری در دشت ساری مربوط به محصول جو به میزان ۰/۹۶ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین میزان بهره‌وری نیز در دشت ساری مربوط به محصول یونجه ۰/۵۷ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد (جدول ۶). نتایج به‌دست آمده نشان داد که با توجه به اقلیم مرطوب دشت ساری در فصل بهار (بیشترین نیاز آبی جو در این فصل بوده) نسبت به دشت شریف‌آباد در این محصول نیاز به آب کمتری دارد که این امر باعث افزایش بهره‌وری محصول جو در این دشت شده است، اما در دشت شریف‌آباد عملکرد یونجه با توجه به مصرف آب بالاتر از شرایط بهتری برخوردار بوده که این امر سبب بالا بودن بهره‌وری آب در محصول یونجه در دشت شریف‌آباد نسبت به دشت ساری شده است. لازم به ذکر است بالا بودن مصرف آب لزوما همیشه نشان‌دهنده بهره‌وری بالا نمی‌باشد. نتایج این پژوهش با یافته‌های نوری خواجه‌بلاغ و همکاران (Nouri-Khajehbelagh *et al*., 2020) مطابقت دارد. در مطالعه‌ای که اوجاقلو و همکاران (Ojaghlou *et al*., 2023)، با هدف بررسی بهره‌وری آب در محصول یونجه در شهرستان زنجان انجام دادند دریافتند که میزان بهره‌وری این محصول بین ۰/۴۲ تا ۱/۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد که نتایج آن‌ها با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. حقایقی مقدم و همکاران (Haghayeghi moghaddam *et al*., 2023)، در مطالعه‌ای که با هدف تعیین آب آبیاری و بهره‌وری آب در تولید جو در کشور انجام دادند میزان بهره‌وری محصول جو را بین ۰/۵۶ تا ۱/۳۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آوردند که نتایج آن‌ها با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. همچنین نتایج بهره‌وری اقتصادی نشان داد که برخلاف بهره‌وری فیزیکی که دشت ساری وضعیت بهتری نسبت به دشت شریف‌آباد داشت، اما در بحث بهره‌وری فیزیکی دشت شریف‌آباد از لحاظ سود خالص اقتصادی در محصول یونجه به مراتب سود بیشتری نسبت به دشت ساری (۳۳۱۳۱ ریال بر متر مکعب) داشته است و این محصول با سود خالص ۴۱۴۲۷ ریال بر متر مکعب بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است. همچنین میزان این شاخص برای محصول جو در دشت ساری با ۳۹۰۸۶ ریال بر متر مکعب بیشتر از دشت شریف‌آباد با سود خالص به میزان ۳۱۴۱۶ ریال بر متر مکعب بوده است که این امر تأییدی دوباره برای وضعیت بهتر محصول جو در دشت ساری می‌باشد. لازم به ذکر است در خصوص بحث اثر اقتصادی هزینه حمل‌ونقل بر سود خالص، عوامل زیادی تأثیرگذار هستند که این امر باعث شده است تا اطلاعات موثقی در خصوص هزینه حمل‌ونقل در دسترس نباشد تا بتوان اثرات این شاخص را در بررسی سود خالص بررسی کرد. این عوامل می‌تواند شامل اولویت هزینه‌های دیگر، نوع محصولات و ساختار بازار باشد. همچنین سیکل زمانی تولید محصول و متغیرهای محلی می‌توانند در افزایش یا کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل تأثیرگذار باشند.

انتشار گازهای گلخانه‌ای

بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن در دشت ساری در محصول یونجه (معادل ۲۶۸۱/۶۵ کیلوگرم CO_2 در هکتار) و کمترین میزان نیز در دشت ساری در محصول جو (معادل ۱۵۵۶/۳۷ کیلوگرم CO_2 در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۷).

جدول ٦- بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در دشت ساری و شریف‌آباد

Table 6- Physical Water Efficiency in Sari and Sharifabad Plains (kilograms per cubic meter)

دشت Plain	درآمد Income (Rials)		هزینه Cost (Rials)		بهره‌وری فیزیکی Physical productivity (kg/m³)		سود خالص NBPD (Rials/m³)	
	جو Barley	یونجه Alfalfa	جو Barley	یونجه Alfalfa	جو Barley	یونجه Alfalfa	جو Barley	یونجه Alfalfa
ساری Sari	211900000	956250000	70212500	172050000	0.96	0.57	39086	33131
شریف‌آباد Shariabad	247350000	581250000	84787500	133982500	0.8	0.67	31413	41427

جدول ۷- میزان پتانسیل گرمایش جهانی در کشت محصولات عمده زراعی (کیلوگرم CO_2 در هکتار)

Table 7- Global Warming Potential in the Cultivation of Major Agricultural Crops (kilograms of CO_2 per hectare)

دشت Plain	جو Barley	یونجه Alfalfa
ساری Sari	1556.37	2681.65
شریف‌آباد Shariabad	1561.18	2351.85

طبق نتایج به‌دست آمده مشخص گردید میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در محصول جو در هر دو دشت تقریبا برابر بوده، اما در محصول یونجه دشت ساری به‌دلیل مصرف بالای کود و سموم از میزان بالاتری برخوردار است. دستان و همکاران (Dastan *et al.*, 2012) در مطالعه‌ای که انجام دادند میزان پتانسیل گرمایش جهانی در تولید برنج را ۲۳۰۷ کیلوگرم CO_2 در هکتار به‌دست آوردند. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2014) که در شمال ایران بر روی محصولات زراعی انجام داده بودند تا حدودی مطابقت داشت، آن‌ها میزان پتانسیل گرمایش جهانی را برای گندم ۱۱۷۱/۱ کیلوگرم CO_2 در هکتار، برای جو ۱۱۰۵/۷ کیلوگرم CO_2 در هکتار، برای کلزا ۱۰۶۳/۵ کیلوگرم CO_2 در هکتار اعلام کرده بودند. مقایسه نتایج دو دشت نشان می‌دهد که میزان پتانسیل گرمایش جهانی در دشت ساری بیشتر از دشت شریف‌آباد است. این اختلاف ممکن است به دلایل گوناگون باشد، از جمله آنکه خاک‌های مناطق معتدل و مرطوب به‌طور عمومی برای کشت برخی از محصولات متناسب‌تر هستند و به تناوب بیشتری نیاز دارند. تجزیه و تحلیل خاک نسبت به شرایط اقلیمی ممکن است منجر به مدیریت بهتر نیتروژن و کودها شود که ممکن است افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای نظیر اکسید نیتروژن را به همراه داشته باشد. همچنین، در مناطق معتدل و مرطوب، شرایط مناسب‌تری برای کشت مستمر محصولات وجود دارد، که ممکن است به استفاده بیشتر از کودها و عوامل شیمیایی دیگر منجر شود. این می‌تواند به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر گردد. بر اساس آمار نشان داده‌شده در سال ۱۳۹۳، استان مازندران تقریباً ۳۰ درصد از مصرف کل کود و سموم کشور را به خود اختصاص داده بود، که این رقم در سال ۱۴۰۰ به حدود ۱۲ درصد کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری

نتایج بهره‌وری انرژی نشان داد که محصول یونجه در دشت شریف‌آباد با ۰/۱۹ کیلوگرم بر مگاژول بیشترین میزان را به خود اختصاص داده که میزان این شاخص برای محصول یونجه در دشت ساری برابر با ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول بود. همچنین میزان بهره‌وری انرژی برای محصول جو در دشت شریف‌آباد برابر با ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول و برای دشت ساری برابر با ۰/۱۲ کیلوگرم بر مگاژول بود که تا حدودی برابر هم بودند. نتایج بهره‌وری فیزیکی آب نشان داد که بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری به‌ترتیب برای محصول جو در دشت ساری برابر با ۰/۹۶ کیلوگرم بر متر مکعب و محصول یونجه در دشت شریف‌آباد با ۰/۵۷ کیلوگرم بر متر مکعب بوده، همچنین میزان این شاخص برای محصول یونجه در دشت ساری برابر با ۰/۶۷ کیلوگرم بر متر مکعب و برای محصول جو در دشت شریف‌آباد برابر با ۰/۸ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. نتایج حاصل برای انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان داد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دشت ساری بیشتر از دشت شریف‌آباد بوده که علت این امر استفاده بیش‌ازحد کود و سموم در دشت ساری می‌باشد به‌طوری‌که بالاترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دشت ساری برای محصول یونجه برابر با ۲۶۸۱/۶۵ و در دشت شریف‌آباد برابر با ۲۳۵۱/۸۵ کیلوگرم CO_2 در هکتار به‌دست آمد. جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که عملکرد محصول در مناطق مرطوب،

نسبت به مناطق خشک و نیمه‌خشک، بیشتر نمی‌باشد و این شاخص به عوامل متعددی از جمله مصرف آب و مسائل مدیریتی وابسته است. همچنین در مطالعه حاضر با توجه به مشکلات موجود در خصوص عدم اطلاعات کافی و در دسترس نبودن هزینه‌های حمل‌ونقل، تأثیر این پارامتر بر سود خالص بررسی نگردید که در مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد برای افزایش دقت در اندازه‌گیری سود خالص در بحث بهره‌وری، این پارامتر نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. لازم به ذکر است مدیران و دست‌اندرکاران کشاورزی نیز باید شرایطی را فراهم آورند تا حمل‌ونقل و هزینه‌های آن نظام‌مند شده و ثبت گردد تا بتوان از این اطلاعات در راستای افزایش دقت مطالعات استفاده کرد.

References

1. Acaroglu, M. (1998). Energy from biomass, and applications. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey. 43 pp.
2. Aghkhani, M.H., Ahmadipour, S., Soltanali, H., & Rohani, A. (2018). Greenhouse gas emission, energy use and cost analysis of citrus production: case study of Mazandaran province. *Journal of Energy Planning and Policy Research*, *4*(3), 181-229. (In Persian)
3. Ararssa, A.A., Gebremariam, A.G., Mulat, W.L., & Mekonnen, M.M. (2019). Effects of irrigation management on yield and water productivity of Barley Hordeum vulgare in the upper Blue nile basin: case study in northern Gondar. *Water Conservation Science and Engineering*, *4*, 113-121. https://doi.org/10.1007/s41101-019-00071-8
4. Baccour, S., Albiac, J., & Kahil, T. (2021). Cost-effective mitigation of greenhouse gas emissions in the agriculture of Aragon, Spain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(3), 1084. https://doi.org/10.3390/ijerph18031084
5. Bartlett, J.E., Kotrlik, J.W., & Higgins, C.C. (2001). Organizational research: determining appropriate sample size in survey research. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, *19*(1), 43-50.
6. Beheshti Tabar, I., Keyhani, A., & Rafiee, S. (2010). Energy balance in Iran's agronomy (1990–2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*, 849-855. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024
7. Dargahi, M., Jahan, M., Naseri, M., & Ghorbani, R. (2016). Energy balance evaluation and economical analysis of canola production in Golestan Province. *Applied Field Crops Research*, *29*(3), 50-62. https://doi:10.22092/aj.2016.112697
8. Dastan, S., Siavoshi, M., Zakavi, D., Ghanbaria-malidarreh, A., Yadi, R., Ghorbannia Delavar, E., & Nasiri, A.R. (2012). Application of nitrogen and silicon rates on morphological and chemical lodging related characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) North of Iran. *Journal of Agricultural Science;4*(6). https://doi.org/10.5539/jas.v4n6p12
9. De Pinto, A., Cenacchi, N., Kwon, H.Y., Koo, J., & Dunston, S. (2020). Climate smart agriculture and global food-crop production. *PLoS One*, *15*(4), e0231764. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231764
10. De, D., Singh, R., & Chandra, H. (2001). Technological impact on energy consumption in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh. *Applied Energy*, *70*, 193-213. https://doi.org/10.1016/S0306-2619(01)00035-6
11. Ghaderzadeh, H., & Pirmohamadyani, Z. (2019). Evaluation efficiencies of energy for potato production in Hamedan Province of Iran. *Agricultural Economics Research*, *11*(42), 167-202. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086407.1398.11.42.8.5
12. Haghayeghi Moghaddam, S.A., Abbasi, F., Nasseri, A., Varjavand, P., Dehghanian, S.E., Ghasemi, M.M., Sepehri, S., KhosraVI, H., Karimi, M., Parchami-Araghi, F., Goodarzi, M., Miranzade, M., Farzamnia, M., Uossef Gomrokchi, A., Rezvani, M., Nikanfar, R., Mousavifazl, S.H., & Ghadami Firouzabadi, A. (2023). Determination of applied water in barley production in Iran. *Water and Soil*. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.82302.1284
13. Hasan, M.M., Mahmud, K., Islam, M.N., Sarkar, P.K., & Shariot-Ullah, M.S.U. (2017). Water productivity and yield performances of wheat under different irrigation and tillage treatments. *Fundamental and Applied Agriculture*, *2*(1), 196-201.
14. Hatirli, S.A., Ozkan, B., & Fert, C. (2006). Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, *31*, 427-438. https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.04.007
15. Herrhz, J.L., Girth, V.S., & Cerisola, C. (1995). Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. *Soil and Tillage Research*, *35*, 183-198. https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00490-4
16. Heydari, F., Sharafi, S., & Mohammadi Ghaleni, M. (2023). The relationship between drought indicators and greenhouse gas emissions in Iran's agricultural sector. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *17*(2), 261-275. (In Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1402.17.2.6.2
17. IPCC. (1995). Climate change, the science of climate change. In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K. (Eds). Intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press.
18. Jäger, T., Mokos, A., Prasianakis, N.I., & Leyer, S. (2022). first_page settings Order Article Reprints Open AccessArticle Pore-Level Multiphase Simulations of Realistic Distillation Membranes for Water

Desalination. *Membranes*. https://doi.org/10.3390/membranes12111112
19. Kahramanoğlu, İ., Usanmaz, S., & Alas, T. (2020). Water footprint and irrigation use efficiency of important crops in Northern Cyprus from an environmental, economic and dietary perspective. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *27*(1), 134-141. https://doi.org/10.3390/membranes12111112
20. Kitani, O. (1999). CIGR Handbook of Agricultural Engineering. American Society of Agricultural Engineers, United States of America.
21. Kramer, K.J., Moll, H.C., & Nonhebel, S. (1999). Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *72*, 9-16. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(98)00158-3
22. Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, *30*, 981-990. https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005
23. Manafi Dastjerdi, M., & Koohnavard, A. (2020). Evaluation and comparison of the energy consumption in Alfalfa production systems in different regions of Alborz province. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *8*(2), 297-310. (In Persian). https://doi.org/10.22092/rafhc.2020.121524.1133
24. Mandal, K., Saha, K., Ghosh, P., Hati, K., & Bandyopadhyay, K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*, *23*, 337-345. https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00058-2
25. Mansoori, H., Rezvani Moghaddam, P., & Moradi, R. (2012). Energy budget and economic analysis in conventional and organic rice production systems and organic scenarios in the transition period in Iran. *Frontiers in Energy*, *6*(4), 341-350. https://doi.org/10.1007/s11708-012-0206-x
26. Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., & Nonhebel, S. (2014). Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *30*, 724-733. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.012
27. Mohammadzadeh, A., Mahdavi Damghani, A., Vafabakhsh, J., & Deihimfard, R. (2017). Assessing energy efficiencies, economy, and global warming potential (GWP) effects of major crop production systems in Iran: a case study in East Azerbaijan province. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(20), 16971-16984. https://doi.org/10.1007/s11356-017-9253-5
28. Nassi, O., Di Nasso, N., Bosco, B., Di Bene, C., Coli, A., Mazzoncini, M., & Bonari, E. (2011). Energy efficiency in long-term Mediterranean cropping systems with different management intensities. *Energy*, *36*, 1924-1930. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.06.026
29. Nouri-Khajehbolagh, R., Khaledian, M., & Kavoosi-Kalashami, M. (2020). Comparison of water productivity indicators for major crops in Ardabil Plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(3), 894-904. (In Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1399.14.3.14.1
30. Nouri-khjebelagh, R., Sefidkouhi, M.A.G., & Khoshravesh, M. (2023). Evaluation of energy indices and greenhouse gas emissions in major horticultural crops and paddy crops in Tajan Plain. *Applied Water Science*, *13*(2), 39. https://doi.org/10.1007/s13201-022-01840-y
31. Ojaghlou, H., Ojaghlou, F., Jafari, M.M., Misaghi, F., Nazari, B., & Karami Dehkordi, E. (2023). Effect of irrigation management on water productivity indicators of Alfalfa. *Water and Soil*, *37*(2), 165-185. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.79145.1211
32. Pimentel, D. (1980). *Handbook of energy utilization in agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL.
33. Platis, D.P., Anagnostopoulos, C.D., Tsaboula, A.D., Menexes, G.C., Kalburtji, K.L., & Mamolos, A.P. (2019). Energy analysis, and carbon and water footprint for environmentally friendly farming practices in agroecosystems and agroforestry. *Sustainability*, *11*, 1664. https://doi.org/10.3390/su11061664
34. Singh, S., & Mittal, J.P. (1992). *Energy in production agriculture*. Mittal Pub, New Delhi.
35. Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T., & Fixen, P. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *133*, 247-266. https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021
36. Vahedi, A., & Zarifneshat, S. (2021). Evaluation energy flow and analysis of energy economy for irrigated wheat production in different geographical regions of Iran. *Journal of Agricultural Machinery*, *11*(2), 505-523. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.v11i2.81747
37. Zhu, R., Zhao, R., Li, X., Hu, X., Jiao, S., Xiao, L., & Chuai, X. (2023). The impact of irrigation modes on agricultural water-energy‑carbon nexus. *Science of The Total Environment*, *860*, 160493 https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160493.